



300.000 jaar

300 miljoen jaar

9 miljard jaar

13,7 miljard jaar

ZIJN WIJ HIER ALLEEN MAAR TOEVALLIG?

Van oerknal tot mens

Waren wij, mensen, voorbestemd om te ontstaan? Of zijn we er louter door een ontzettend toevallige samenloop van omstandigheden? De biologie, geologie en astronomie kennen het antwoord.

Door Manuel SINTUBIN, Peter ROELS en Christoffel WAEKENS

Wat alleszins vaststaat: het is zo gelopen. En bovendien is de mens, met zijn eenvoudige bouwstenen en universeel geldende natuurwetten, in staat niet alleen deze fundamentele vraag te stellen, maar ook vanuit de natuurwetenschappen een onderbouwd antwoord te geven.

Twee eeuwen geleden, aan het eind van de achttiende eeuw, beschouwde men het feit dat het zo gelopen is als onvermijdelijk. Alles draaide toen rond de universeel geldende natuurwetten. Alles was te berekenen ... en dus voorspelbaar, zowel in het verleden als in de toekomst.

Isaac Newton had immers aangetoond dat de kracht die de appel naar beneden doet vallen, dezelfde moet zijn als de kracht die de maan in een baan om de aarde houdt, namelijk de zwaartekracht. Het verschil tussen het 'bovenmaanse', waar de perfectie heerste, en het 'ondermaanse' bleek plots de wetenschappelijke toets niet meer te doorstaan. Gaandeweg heeft de wetenschap ons inderdaad geleerd dat processen in het hele universum, dus ook op aarde, gehoorzamen aan dezelfde natuurwetten.

De vraag ligt dan ook voor de hand: Moest het zo zijn? Zijn de aarde, het leven en uiteindelijk de mens een onvermijdelijk gevolg van de universele natuurwetten? Kortom, stonden wij - letterlijk - in de sterren geschreven? Of had het ook anders gekund? Was een heelal zonder een planeet zoals de aarde, zonder het leven zoals we dat nu kennen, en vooral zonder de mens denkbaar?

De wereld van Newton, Copernicus, Kepler en Galileo was voorspelbaar vanuit de natuurwetten. Nicolaus Copernicus vond het 'wiskundig eleganter' om de aarde rond de zon te doen draaien. Johannes Kepler legde de bewegingen van de planeten vast in zijn drie wetten. En Galileo Galilei vond in zijn waarnemingen de eerste aanwijzingen dat de aarde inderdaad rond de zon draait. Hun wereldbeeld was tijdloos, zonder enige geschiedenis, een opeenvolging van perfect werkende en begrijpelijke werelden die van elkaar gescheiden werden door grote catastrofes.

Dit tijdloos wereldbeeld is mooi gevat door James Hutton (1726-1797), de vader van de geologie: *We see no vestige of a beginning ... no prospect of an end ...* En de toenmalige aardgeleerden vonden de materiële bewijzen van deze catastrofes - wat we nu discordanties noemen - in het gesteentearchief. De bijbelse zondvloed paste in het plaatje: hij luidde de laatste der werelden in, met name de wereld van de mens. En in dit tijdloze, voorspelbare wereldbeeld was ook het leven onveranderlijk, zo geschapen door god volgens een goddelijk plan.



Op de Beagle leest Darwin over geologische geleidelijke veranderingen.

Dat was ook het wereldbeeld waarmee Charles Darwin opgroeide. Maar toen hij in 1831 aan zijn Beaglereis begon, keek hij al heel anders tegen de wereld aan. Toen hij in Cambridge natuurlijke theologie studeerde - kennis over god via de natuur en de rede -, volgde hij les bij Adam Sedgwick, nog een grondlegger van de geologie. Op een geologische terreinstage in Wales noteerde Darwin in zijn dagboek: *Een huis dat is afgebrand vertelt zijn verhaal niet duidelijker dan deze vallei. Als ze*

Zijn de aarde, het leven en de mens een onvermijdelijk gevolg van de natuurwetten?

nog steeds gevuld was met een gletsjer, zouden de fenomenen minder uitgesproken zijn dan ze nu zijn. Darwin ontdekte de geheimen van de aarde en beseftte dat onze planeet een lange geschiedenis moet hebben gekend, waarvan de materiële getuigen terug te vinden zijn in landschappen, gesteenten en fossielen.

Darwins geologische wortels zullen tijdens de Beaglereis zijn denkproces sturen en uiteindelijk cruciaal zijn in het tot stand komen van zijn revolutionair concept van evolutie. Eenmaal op de Beagle krijgt de jonge Darwin van kapitein Fitzroy het eerste deel van de *Principles of Geology*, het toenmalige basiswerk geologie van de hand van Charles Lyell. Die brak daarin een lans voor het actualiteitsprincipe of *uniformitarianisme*. De processen die we rondom ons zien in de natuur, moeten - net als de universele natuurwetten - ook in het geologische verleden gewerkt hebben. En deze processen waren geleidelijk. Daarmee verzette Lyell zich tegen het catastrofisme van Georges Cuvier. Alles verandert geleidelijk. Het idee van evolutie zag het licht.

In 1835 maakt de zware aardbeving die Charles Darwin meemaakt in Chili, enorme indruk: *één seconde geeft de geest een vreemd gevoel van onveiligheid, die uren van reflectie*

nooit zouden kunnen teweegbrengen. De aardse processen die hij probeert te doorgronden spelen zich voor zijn ogen af. Hij ziet hoe het land door de aardbeving een beetje omhoog gekomen is, hij ziet omhooggekomen strandterrassen opgemerkt. En hij bedenkt dat zo, met horten en stoten, de hele Andes moet zijn gevormd. Darwin beseft dat dit proces enorm veel tijd in beslag moet hebben genomen om uiteindelijk het landschap dat hij ziet, te vormen. Deze twee bevindingen - een zee van tijd en het stapsgewijze, geleidelijke karakter van aardse processen - blijken achteraf cruciaal bij het uittekenen van zijn evolutieleer.

LANGE NEKKEN EN HOGE BOMEN

Darwin begint in te zien dat ook soorten gedurende de lange geologische geschiedenis geleidelijk veranderd zijn. Het tijdloze, onveranderlijke wereldbeeld, geïnspireerd door een bijbelse visie, heeft zijn beste tijd gehad.

Maar misschien is de wereld nog wel voorspelbaar. Darwin merkt op dat de mens met kweekprogramma's een enorme diversiteit

aan hondenrassen kan creëren, vertrekkende van één voorouder. Hij vermoedt dat ook in de natuur variëteiten binnen een soort ontstaan, die uiteindelijk zoveel van elkaar gaan verschillen, dat ze zich ontwikkelen tot nieuwe soorten. Kortom: evolutie - of *transmutation* in de woorden van Darwin - door afstamming met modificatie. In zijn notitieboekje van 1837-1838 schetst hij zijn eerste evolutiestamboom met aftakkingen, onder de veelzeggende woorden *I think!*

Darwin gaat naarstig op zoek naar het mechanisme achter de *origin of species*. Zijn antwoord luidt *by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*, zoals mooi gesynthetiseerd in de titel van het boek dat ons wereldbeeld voorgoed veranderde.

De brandstof van evolutie is variatie. Geen twee individuen van een soort zijn identiek. Door deze variatie is het ene individu mogelijk beter aangepast aan de omgeving dan het andere. Verder blijkt er ook een enorme overproductie van nakomelingen in de natuur voor te komen. Stel je even voor dat de 1,5 miljoen eitjes die een steur legt, allemaal zouden overleven. Binnen de kortste keren zou de wereld verdrinken in de kaviaar ... mis-

schien een prettig vooruitzicht voor velen. In tegenstelling tot het geromantiseerde beeld dat we van 'Moeder Natuur' hebben, woedt er een permanente strijd om het voortbestaan. Moeder Natuur is eigenlijk een razende feeks die wild om zich heen slaat en alles wat haar niet aanstaat, vermorzelt. Het individu dat het minste troeven kan uitspelen in die strijd, zal geëlimineerd worden ... de bekende *survival of the fittest*. Deze natuurlijke selectie is de ware motor achter de evolutie.

De overlevende individuen zorgen weerom voor een nageslacht dat de gunstige kenmerken kan overerven, al zal de variatie weer een nieuwe selectieronde op gang trekken. Als nu generatie na generatie individuen in een bepaalde richting worden geselecteerd, kunnen – soms zeer complexe – adaptaties tot stand komen. En zo ontstaan er ook nieuwe soorten. En het is de natuurlijke omgeving – die overigens ook aan veranderingen onderhevig is – die de richting van evolutie uitzet. 'Post-factum' lijken de adaptaties voorbestemd en doelbewust ontworpen, maar dat is schijn. Giraffen ontwikkelden geen lange nek om aan de bladeren hoog in de boom te kunnen, maar kunnen aan de bladeren omwille van de lange nek. Een nakomeling met een iets langere nek had toevallig in die omgeving een troef in de overlevingsstrijd.

Evolutie is dus niet gericht of voorbestemd, maar stoelt op toeval. Toch mag evolutie niet verengd worden tot puur toeval. Soms ver-

gelijken de non-believers evolutie met een tornado die door een hangaar met vliegtuig-wisselstukken raast en toevallig een volledig gemonteerde Boeing 747 achterlaat. Niets is minder waar. Evolutie wordt gestuurd. De omgevingsfactoren bepalen in welke richting natuurlijke selectie werkt. Uiteindelijk ziet

een potsierlijke, onpraktische staart? Hier heeft seksuele selectie gespeeld. Pauwen hebben een eigen kijk op de wereld ... *Size matters!* En er is geen weg terug. Evolutie is dus een onomkeerbaar, stapsgewijs proces dat in essentie onvoorspelbaar is, waarin toeval een dominante rol speelt. Vol-

Moeder Natuur is een razende feeks die alles vermorzelt wat haar niet aanstaat

een dolfijn – een zoogdier dat teruggekeerd is naar de oceanen – er op het eerste gezicht uit als een vis. Hydrodynamisch is de gestroomlijnde vorm een onmiskenbare troef in de overlevingsstrijd.

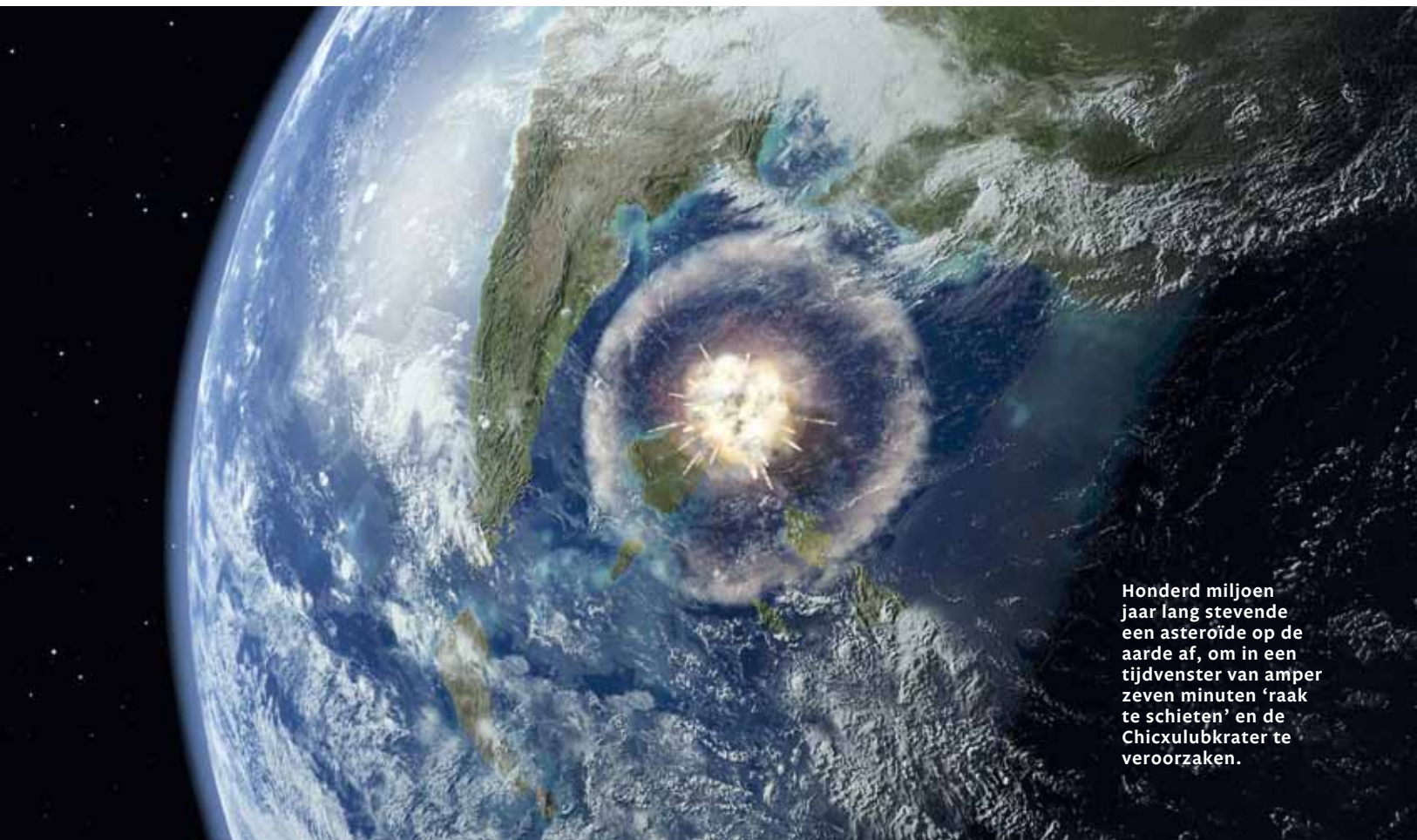
Maar de mariene zoogdieren, zoals de dolfijn en de walvis, brengen nog een aspect van de evolutie naar voren: evolutie is in wezen onomkeerbaar. Het is een proces van voortdurende verbouwing. De interne anatomische bouw van de 'vinnen' van dolfijn en walvis verschilt nauwelijks van die van onze armen, of van die van de voorste ledematen van elk ander zoogdier. Deze 'vinnen' hebben geen uitstaans met de vinstructuur van vissen. Elk dier en elke plant draagt dan ook de sporen van bijna vier miljard jaar evolutie, van het kleinste organel in de cel tot het verre van perfecte 'ontwerp' van de mens. Of wat denk je van het 'ontwerp' van een pauwhaan met

ledig in tegenstelling tot het mechanistische, tijdloze, onveranderlijke wereldbeeld van de 19de eeuw.

LEVENDE PLANEET

Ook op grotere schaal – in de macro-evolutie – spelen 'toevalstreffers' een cruciale rol. Maar ook hier is de richting onvoorspelbaar. Catastrofale gebeurtenissen komen hier weer op het voorplan, waardoor de strikte uniformitarianistische aanname van geleidelijkheid op de helling komt te staan.

Het bekendste voorbeeld is de meteorietinslag die 65 miljoen jaar geleden een einde maakte aan het tijdperk van de dinosauriërs en daarmee het pad effende voor de zoogdieren. De Chicxulubinslag was het gevolg van een catastrofale botsing in de asteroïdengordel tussen Mars en Jupiter zo'n 160 miljoen jaar geleden. Honderd miljoen jaar lang



Honderd miljoen jaar lang steevende een asteroïde op de aarde af, om in een tijdvenster van amper zeven minuten 'raak te schieten' en de Chicxulubkrater te veroorzaken.

stevende deze killer-asteroïde op de aarde af in een dolle reis doorheen het binnenzonnestelsel. Uiteindelijk was er een tijdvenster van slechts zeven minuten om 'raak te schieten'. Zeven minuten op 100 miljoen jaar ... als dat geen toevalstreffer is.

Uiteindelijk blijkt ook dat het verhaal van de aarde zelf onomkeerbaar is, gestuurd door veranderingen in haar kosmische omgeving, en doorspekt met toevalligheden die het verhaal onvoorspelbaar maken, zowel in het verleden als in de toekomst. De aardse atmosfeer is een mooie illustratie van de onomkeerbaarheid van het aardse verhaal. Deze stikstof-zuurstofatmosfeer staat in schril contrast met de koolzuurgasatmosfeer van onze zusterplaneet Venus. Een koolzuurgasatmosfeer is een typische planetaire atmosfeer, totaal in thermodynamisch evenwicht. Onze atmosfeer daarentegen is volledig uit evenwicht. Aardse processen moeten constant dit onevenwicht onderhouden, een beetje als een levend organisme. Ook de prille aardatmosfeer was een koolzuurgasatmosfeer. Gelukkig maar! De zon was zo'n 4 miljard jaar geleden immers een kwart zwakker dan vandaag. Het extra broeikaseffect creëerde genoeg warmte om het levensexperiment op gang te trekken.

Maar het verhaal kan ook omgedraaid worden. Rekening houdend met een steeds helder wordende zon zou een koolzuurgasatmosfeer planeet aarde fataal zijn geweest. Had ze geen manier 'gevonden' om gigantische hoeveelheden koolzuurgas uit de atmosfeer te pompen, dan was het hier nu een helse - Venusachtige - doodse wereld.

Water speelt een cruciale rol in het 'antwoord' van de aarde. De verwerking van continenten - een uniek product van platentektoniek - 'verbruikt' koolzuurgas dat chemisch vastgelegd wordt als kalkgesteenten in de zeeën. Maar het is vooral het leven op aarde dat de natuurlijke thermostaat in stand houdt. Het lijkt wel een 'overlevingsreflex' van een 'levende planeet' die reageert op een veranderende kosmische omgeving. Meer dan 3 miljard jaar geleden ontstond een wonderlijk mechanisme om koolzuurgas uit de atmosfeer te onttrekken en vast te leggen in organisch materiaal: fotosynthese.

Maar deze 'uitvinding' had een onverwacht afvalproduct: het toxische gas zuurstof. Een miljard jaar later lieten de gevolgen zich voelen in de grootste milieucatastrofe aller tijden. Blauwalgen veroverden de wereld en produceerden massaal zuurstof. Terwijl in de beginfase dit reactieve gas in de oceanen met het opgeloste ijzer reageerde en neersloeg was er na een tijdje geen ijzer meer om te oxideren en ontsnapte het gas in de atmosfeer. Het anaerobe leven verstikte in deze giftige atmosfeer. Maar fotosynthese was nog maar het begin.



De kliffen van Dover bestaan uit kalkskeletjes van afgestorven algen waarin gigantische hoeveelheden koolzuurgas zijn opgeslagen.

Zo'n 550 miljoen jaar geleden begonnen organismen opgelost koolzuurgas te gebruiken voor de opbouw van kalkskeletten. Organismen begonnen nu zelf efficiënt atmosferisch koolzuurgas om te zetten in harde

is de enige planeet in ons zonnestelsel in de 'bewoonbare zone', waar vloeibaar water kan voorkomen aan het oppervlak. En vloeibaar water vormt de sleutel tot alles op aarde: van platentektoniek en de gesteentecyclus

De omgeving bepaalt in welke richting natuurlijke selectie werkt

kalkgesteenten. De kliffen van Dover - opgebouwd uit dikke pakketten kalkskeletjes van afgestorven algen - zijn eigenlijk niets meer dan gigantische hoeveelheden opgeslagen atmosferisch koolzuurgas. De biogeochemische systemen op aarde hebben tijdens het hele bestaan van onze planeet constant broeikasgassen uit de atmosfeer gehaald. Zo bleef de temperatuur aangenaam ondanks de steeds heftigere zon. Eigenlijk is momenteel zo goed als alle koolzuurgas uit de atmosfeer gepompt. We zien dat fotosynthetiserende organismen aan koolzuurgasontbering beginnen te lijden. En dat belooft niet veel goeds voor de verre toekomst. De aarde zal de strijd tegen de zon ooit verliezen.

Planeet aarde is op zich een gelukstreffer. Het product van een ongelooflijke samenloop van heel wat toevalligheden. Alles blijkt te kloppen op aarde. Onze planeet is net groot genoeg om genoeg interne warmte te verzekeren waardoor platentektoniek mogelijk is. Ze heeft ook genoeg zwaartekracht, zodat ze een atmosfeer kan vasthouden die niet te ijl is voor leven. De aarde ligt ook op de juiste afstand van zijn ster, de zon. Het

tot leven. Leven dat uiteindelijk de 'levensverzekering' blijkt te zijn voor onze planeet. Venus staat te dicht (te warm), Mars is te klein (te koud), de aarde is 'precies goed'. Als dat weerom geen toeval is.

EEN HEELAL IN EVOLUTIE

Ook op een nog grotere schaal blijkt de configuratie van ons zonnestelsel een cruciale rol te hebben gespeeld in het aardse verhaal. De zon is van het juiste type, net groot genoeg om het tien miljard jaar uit te houden. Maar ook Jupiter - met zijn belangrijke zwaartekrachtinvloed - heeft ons als 'asteroïdenvanger' behoed voor al te veel kosmische catastrofes.

Maar hoe zit het eigenlijk met ons zonnestelsel? Is dat uniek? Eerder de uitzondering dan de regel? En als er andere planeetstelsels zijn, zien ze er dan ook allemaal uit als ons zonnestelsel?

Ook hier duikt het Copernicaanse principe weer op: planeetstelsels blijken de normaalste zaak in het heelal te zijn. Stofschijven blijken een normaal bijproduct te zijn van stervorming. En uit deze stofschijven klitten planeten samen.

De ontdekking van de eerste exoplaneten kwam als een koude douche. Deze planeten buiten ons eigen zonnestelsel zijn 'hete Jupiters' en 'hete Neptunussen', grote gas- en ijsreuzen die dicht bij hun ster staan dan Venus of Mercurius in ons eigen zonnestelsel. En weerom is de conclusie: planeetstelsels zijn 'gewoon', maar 'gewone' planeetstelsels bestaan niet. Elk planeetstelsel schrijft een uniek kosmisch verhaal. Maar in ons planeetstelsel is het aardse wonder mogelijk. Ook hier is de aardse omgeving 'precies goed'. De tijd speelt ons parten. Naast de 10 miljard jaar stabiliteit die de zon haar omgeving gunt – nodig om evolutie 'zijn ding te laten doen' – is een planeetstelsel zoals het onze alleen mogelijk in een 'rijp heelal', na genoeg cycli van stervorming en supernovae (explosies van sterren). Die zijn cruciaal: in een heelal dat voornamelijk bestaat uit waterstof en helium leveren zij genoeg 'zware elementen' waardoor een aardse planeet als de onze, en leven zoals op aarde, mogelijk zijn. In een jong heelal is dat simpelweg uitgesloten.

Inderdaad, ook het heelal is in evolutie, en dat al meer dan 13 miljard jaar. En ook deze evolutie is een onomkeerbaar proces, bouwt stap voor stap op het bestaande, net zoals die van de voorouders van de walvis of dolfijn toen ze weer naar zee migreerden. En hoewel de natuurwetten universeel zijn, is ook het ontstaan van sterrenstelsels en planeetstelsels onvoorspelbaar. Toeval is de regel, niet de uitzondering.

DE MENS, EEN AKKEFIETJE

Uiteindelijk zijn wij, de mens, een product van dit alles: wij zijn allemaal gemaakt uit sterren! Het is dan ook 'ons' heelal. De kennis van dat heelal heeft ons een wereldbeeld opgeleverd dat indruist tegen onze dagelijkse perceptie en intuïtie: een wereld in permanente staat van verandering waarvan het verhaal, gekruid door onvoorspelbare toevalstreffeers, alleen achteraf geschreven kan worden. De geschiedschrijvers van dit boeiende kosmische verhaal zijn de kosmologen, geologen en biologen.

Maar onze wetenschappelijke zoektocht heeft ook iets ontluisterends. We kennen nu onze echte plaats in dit verhaal. Kijken we naar de stamboom van het leven, dan zien we zeker geen rechte lijn van het eerste 'primitieve' leven tot de mens. De levensboom is eerder een warrige struik met vele takjes. Bijna alle leven op aarde is microbieel. De complexe meercellige levensvormen zoals de dieren – en de mens daarbinnen – vormen maar één zijtakje tussen een wirwar van hoofdzakelijk eencellige takjes. De mens is dus een onooglijk twijgje in die warrige struik van het leven. Maar ook in het geologische verhaal blijft



De mens is een onooglijk twijgje in de warrige struik van het leven die ocharme 200.000 jaar bestaat.

de mens slechts een voetnoot te zijn. De 200.000 jaar dat *Homo sapiens* – onze soort – de aarde bevolkt, valt in het niet vergeleken met de 4,5 miljard jaar aardse geschiedenis. De Eiffeltoren is toch ook niet gebouwd voor het lijke verf op de top van de spits? Maar het wordt nog erger als we de dimen-

ONVERMIJDELIJK?

Gaan we terug naar onze uitgangsvraag: Moest het zo zijn? Dan is het antwoord ja en nee ... een typisch antwoord van een wetenschapper! Ja, want we zijn er nu eenmaal. We zijn een product van 'ons' heelal. Ook wij gehoorzamen aan alle natuurwetten die univer-

Onze wereld verandert constant en zijn verhaal, gekruid door toevalstreffeers, kan alleen achteraf geschreven worden

sies van ons heelal beschouwen. In ons melkwegstelsel is onze zon slechts een van de 200 miljard sterren. Onze melkweg is slechts één van de miljarden sterrenstelsels in het bijna 14 miljard jaar oude heelal. Het dichtstbijzijnde sterrenstelsel – Andromeda – ligt op meer dan 2,5 miljoen lichtjaar van ons verwijderd, dat is de tijd dat licht (met een snelheid van 300.000 km/s) nodig heeft om die afstand te overbruggen. We zien Andromeda vandaag zoals het eruit zag bij het begin van de laatste ijstijd 2,5 miljoen jaar geleden.

Als 'intelligent' wezen dat de geheimen van het heelal probeert te doorgronden zijn we eigenlijk van geen tel in het onmetelijke heelal. We zijn een wonderlijk akkefietje, wat begrijpelijk is in een wereld gedomineerd door de tweede wet van de thermodynamica. Wanorde is de ultieme eindbestemming van het heelal. Complexiteit gaat daar diametraal tegen in. Het complexer, hoe zeldzamer.

seel gelden in het heelal, ook wij zijn gemaakt uit de bouwstenen van het universum.

Nee, want zelfs met enkele eenvoudige universele natuurwetten en eenvoudige bouwstenen is er heel wat speelruimte. Dat maakt dat het heelal en al zijn bijproducten zoals sterren, planeten en leven een evolutie doormaken – en dus geschiedenis schrijven – die enerzijds onvoorspelbaar is en anderzijds onomkeerbaar.

Het heelal had er vandaag dus ook totaal anders kunnen uitzien. Maar gelukkig is het zo gelopen. Wie had anders de geschiedenis van het leven, van de aarde en van de kosmos ont- rafeld en neergeschreven? ■

Geoloog Manuel Sintubin, bioloog Peter Roels en astronoom Christoffel Waelkens zijn hoogleraar aan de K.U.Leuven.

Van de auteurs verscheen bij Acco de trilogie Van Oerknal tot Mens. Surf naar www.eosmagazine.eu/boeken.aspx